



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**MORFOMETRIA DA FIBRA MUSCULAR PEITORAL E DAS
VILOSIDADES INTESTINAIS DE *Calidris pusilla* (LINNAEUS,
1766) DURANTE O PERÍODO DE INVERNADA NO BRASIL**

Felipe de Queiroz Chaves

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**MORFOMETRIA DA FIBRA MUSCULAR PEITORAL E DAS
VILOSIDADES INTESTINAIS DE *Calidris pusilla* (LINNAEUS,
1766) DURANTE O PERÍODO DE INVERNADA NO BRASIL**

Felipe de Queiroz Chaves

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Romão Guerra
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Roberta Costa Rodrigues

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

2016

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, campus II, Areia - PB

C512m Chaves, Felipe de Queiroz.

Morfometria da fibra muscular peitoral e das vilosidades intestinais de *Calidris pusilla* (LINNAEUS, 1766) durante o período de invernada no Brasil / Felipe de Queiroz Chaves. – Areia - PB: CCA/UFPB, 2016.
35 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Centro de Ciências Agrárias.
Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

Bibliografia.

Orientador (a): Prof. Dr. Ricardo Romão Guerra.

Coorientadores (as): Profa. Dra. Roberta Costa Rodrigues

1. Migração de aves. 2. *Charadriiformes*. 3. Alterações histológicas I. Guerra,
Ricardo Romão (Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 636.5(043.3)

FELIPE DE QUEIROZ CHAVES

**MORFOMETRIA DA FIBRA MUSCULAR PEITORAL E
DAS VILOSIDADES INTESTINAIS DE *Calidris pusilla*
(LINNAEUS, 1766) DURANTE O PERÍODO DE
INVERNADA NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ciência Animal do Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Federal da
Paraíba, como parte das exigências
para a obtenção do título de Mestre
em Ciência Animal. Área de
Concentração Saúde Animal do brejo
paraibano.

APROVADA EM 20/12/2016

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ricardo Romão Guerra
DCV/CCA/UFPB
Orientador



Prof. Dr. Helder Farias Pereira de Araújo
DCB/CCA/UFPB
Examinador



Prof. Dr. Danilo José Ayres de Menezes
UAMV/CSTR/UFCG
Examinador

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FELIPE DE QUEIROZ CHAVES - Nascido em Recife, estado de Pernambuco, em 08 de outubro de 1982. Possui formação técnica em BIODIAGNÓSTICO, HISTOLOGIA E MICROSCÓPIA pela Escola Técnica de Saúde do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba (2009) e graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2012). Em 2015, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba sob a orientação do Prof. Dr. Ricardo Romão Guerra.

EPÍGRAFE

Deus fala contigo pela voz silenciosa de teu coração. Centraliza-te em ti mesmo e do âmago de tua alma perceberás amorosamente que, na Natureza, tudo cresce em harmonia. Analisa o fluxo da vida nas águas, nas plantas, nas flores, nos animais, nas pessoas e em ti mesmo e verás as oportunidades de crescimento que todo ser está destinado a alcançar.

Hammed

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus por todas as dádivas que me concede e à pessoa mais importante da minha vida: minha mãe! Com todo o meu amor, respeito e carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concedido todas as condições e oportunidades em cada passo dessa caminhada.

À espiritualidade pela influência dos bons espíritos, que sempre estiveram me auxiliando.

À minha mãe, a quem devo tudo, por ser minha fonte inesgotável de força e amor em todos os dias da minha vida.

À Universidade Federal da Paraíba pela oportunidade de qualificação.

Ao Centro de Ciências Agrárias por disponibilizar suas dependências e recursos humanos para uma formação especializada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal pela oportunidade de ampliar conhecimentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Romão Guerra, pelo apoio e orientação desde nosso primeiro contato.

À minha coorientadora, Roberta Rodrigues, pelas valiosas contribuições na elaboração deste trabalho.

Ao estudante de iniciação científica, Nailson Neri Jr., pelo apoio técnico imprescindível para a execução desta pesquisa.

Ao secretário do PPGCAn, Jaldir Oliveira, pela gentileza, paciência e presteza no atendimento sempre que solicitado.

Aos professores e funcionários do Centro de Ciências Agrárias e da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) que foram fundamentais em todo o processo de aprendizado até aqui.

Ao amigo e colega de trabalho, Danilo Rolin, pela generosa ajuda.

Às minhas chefes, Cláudia Galvão e Letícia Zanetti, pelo apoio e compreensão nas ausências ao trabalho quando a condição de pós-graduando exigia esses afastamentos.

Aos meus preciosos amigos, Franklin Eduardo, Lucas Bezerra, Ivalter Xavier (*in memoriam*), Nadjá Cavalcanti, Priscila Garrido e Thays Maria, pelas palavras fraternas e de incentivo sempre que a insegurança se fez presente.

Aos meus queridos e amados irmãos de coração, Leonardo Fagner e Sillas Duarte, por todo o apoio, companheirismo e amizade.

À minha prima e parceira de tantos momentos, Gleide Silveira (*in memoriam*) por sempre vibrar comigo a cada conquista, inclusive no ingresso na pós-graduação e agora, no plano espiritual, nesse momento de culminância do mestrado.

Enfim, a todos familiares e amigos que contribuíram de alguma forma na realização desta dissertação e que torcem por mim.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ii
RESUMO GERAL	iii
ABSTRACT	iv
CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
Capítulo I - MORFOMETRIA DA FIBRA MUSCULAR PEITORAL E DAS VILOSIDADES INTESTINAIS DE <i>Calidris pusilla</i> (LINNAEUS, 1766) DURANTE O PERÍODO DE INVERNADA NO BRASIL	6
CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de rotas migratórias de aves.	2
---	---

**MORFOMETRIA DA FIBRA MUSCULAR PEITORAL E DAS VILOSIDADES
INTESTINAIS DE *Calidris pusilla* (LINNAEUS, 1766) DURANTE O PERÍODO DE
INVERNADA NO BRASIL**

RESUMO GERAL - A migração tornou-se um hábito em vários animais, como nas aves da ordem Charadriiformes. Estudos nesse grupo justificam-se pela escassez de conhecimento sobre aspectos biológicos relacionados à migração. Essa pesquisa analisou os efeitos da migração na morfologia da espécie *Calidris pusilla* que se desloca para o Brasil no período de invernada, chegando entre setembro e outubro e regressando às áreas de reprodução entre março e maio. Espécimes capturados no litoral da Paraíba tiveram um fragmento da musculatura peitoral e duodeno coletados, fixados em formol 10% e processados para histologia segundo procedimento padrão. Foram encontradas diferenças histológicas expressivas durante o tempo que permaneceram no Brasil, como aumento do diâmetro das fibras musculares peitorais, assim como, uma inicial redução da altura da vilosidade intestinal com subsequente aumento da mesma. Já as criptas intestinais aumentaram sua profundidade na primeira metade da invernada com uma diminuição na segunda metade. Quando avaliado o índice de células caliciformes intestinais, não houve variações significativas. Pode-se concluir que ocorrem mudanças histomorfométricas que tornam essas aves adaptadas aos diferentes momentos da migração.

Palavras-chave: Migração de Aves, Charadriiformes, Alterações Histológicas.

MORPHOMETRY OF THE PECTORAL MUSCLE FIBER AND INTESTINAL VILLI OF *Calidris pusilla* (LINNAEUS, 1766) DURING THE WINTERING PERIOD IN BRAZIL

ABSTRACT - Migration became a habit among several animal such as birds of the order Charadriiformes. Investigations of this group are necessary owing to the lack of information about major aspects to the physiology of migration. In the present study were analyzed the effects of migration in morphology of the specie *Calidris pusilla* which migrates to Brazil during winter, arriving at September or October and coming back between March and May to reproductive areas. Specimens captured from coast of the Paraíba had have removed a fragment of the pectoral muscles. It was fixed in 10% formaldehyde and processed for histological practices following pattern procedures. Expressive differences were found during the time that these birds stayed in Brazil, including increased diameter of pectoral muscle fibers, and initial reduction followed by subsequent increase of intestinal villus. Otherwise intestinal crypts increased their depth in the first half of wintering with a decrease in the second half. When it was evaluated the index of intestinal goblet cells, there were no significant variations. It can be concluded that histomorphometric changes occur that make these birds adapted to the different moments of the migration.

Keywords: Bird Migration, Charadriiformes, Histological Alterations.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Vários grupos animais adquiriram o hábito da migração, que só foi possível graças às adaptações biológicas ao longo de sua evolução, sobretudo a aquisição de características para realização de deslocamentos por grandes distâncias. Essa prática representa para algumas espécies um fator fundamental para a continuidade da vida do grupo, uma vez que proporciona condições alimentares e reprodutivas satisfatórias (ALERSTAM et al., 2003).

Nos vertebrados, migrações sazonais de longa distância são realizadas por todos os grupos como peixes, anfíbios, répteis e mamíferos, mas todos os exemplos são superados pela complexidade das migrações realizadas pelas aves (BERTHOLD, 1993). Em casos extremos, as aves podem cobrir distâncias equivalentes à circunferência do planeta, com travessias pelos oceanos, desertos, montanhas e campos gelados (ALERSTAM, 1990).

As aves são uma classe dos vertebrados com registros de aproximadamente 10.000 espécies (BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2015), com ocorrência de 1.901 espécies no Brasil (CRBO, 2014). Anualmente, milhares de aves limícolas, provenientes do hemisfério Norte, migram para a América do Sul com a proximidade do outono boreal, ocupando principalmente as costas marítimas do continente, no período de setembro a abril (HARRINGTON & MORRISON, 1979; HARRINGTON et al., 1986; AZEVEDO-JÚNIOR & LARRAZÁBAL, 1999; AZEVEDO-JÚNIOR et al., 2001; TELINO-JÚNIOR et al., 2003). Ao longo da costa brasileira são encontrados vários sítios de invernada (termo relacionado ao inverno do hemisfério Norte), que são de extrema importância para a manutenção e conservação de diversas espécies, desde o Amapá até o Rio Grande do Sul. Nessas áreas, além da troca de penas, essenciais ao voo, o ganho de massa reflete o acúmulo de energia suficiente para a continuidade do ciclo (RODRIGUES et al., 2009).

Entre aves que ocorrem no Brasil, a ordem Charadriiformes tem várias espécies migratórias e estas seguem rotas com deslocamentos entre os hemisférios Norte e Sul do planeta, onde são conhecidas as seguintes: Atlântico oeste, Atlântico leste, Interior americano, Pacífico leste e oeste, África, Mediterrâneo, Índia e Ásia-Austrália (BOERE & STROUD, 2006). Enquanto que dentro das fronteiras do Brasil

são descritas cinco rotas migratórias, a saber: Atlântico, Variação do interior do Nordeste, Brasil central, Amazônia central e Pantanal e a Oeste Amazônico (ANTAS, 1983) (Figura 1).

A espécie *Calidris pusilla* (Linnaeus, 1758), popularmente conhecida como maçarico-rasteirinho, pertencente à família Scolopacidae, migra para a costa brasileira, sendo uma ave de pequeno porte com bico e pernas negras (SICK, 1997; THOMAS et al., 2004) com alguns sítios de internada no Nordeste brasileiro (OLIVEIRA et al., 2016) e seus sítios de reprodução no Ártico canadense e no Alasca (GRATTO-TREVOR et al. 2012). Nos sítios de internada, as aves encontram alimentos, que possibilitam o aumento da massa corporal e realização mudas (MORRISON, 1984). A grande ocorrência da espécie na costa da brasileira representa uma importante motivação para estudá-la. Essa espécie apresenta uma grande flexibilidade quando se considera o tipo do alimento ingerido, com uma variedade que pode contemplar musgos, algas, pequenos ovos de insetos, peixes, crustáceos e moluscos (SERRANO, 2010).



Figura 1. Mapa de rotas migratórias de aves. Adaptado de Antas (2003)

Esses animais, naturalmente, se submetem às condições que exigem adaptações e embora as características estruturais das aves sejam essencialmente fixas em relação ao tamanho, uma vez que a maturidade foi atingida, os órgãos internos podem variar consideravelmente em tamanho e massa ao longo do ciclo anual (JEHL, 1997; PIER SMA & LINDSTRÖM, 1997; PIER SMA & DRENT, 2003).

Algumas pesquisas revelaram indícios de que os diferentes órgãos e blocos de músculo apresentam diferentes graus de hipertrofia e atrofia em relação ao período de migração (MARSH, 1984; EVANS et al., 1992; JEHL, 1997; PIER SMA & LINDSTRÖM, 1997; PIER SMA, 1998). Essa habilidade de reversão do tamanho dos órgãos pode ser extremamente vantajosa para aves que realizam grandes migrações (DEKINGA et al., 2001). As aves migratórias dependem da associação entre a eficiência da musculatura de voo com a capacidade de armazenar combustível, principalmente gordura, para atravessarem barreiras ecológicas em seus voos de longa distância com poucas ou nenhuma parada (HEDENSTRÖM & ALERSTAM, 1992). Estratégias e adaptações possibilitam que o custo energético do voo sofra uma diminuição e levam a um desempenho adequado às necessidades ecológicas (RAYNER, 1982).

Existem músculos esqueléticos específicos que se relacionam com a atividade do voo. Essa especialização evolutiva confere às aves, principalmente as de extensas migrações, uma grande eficiência nos deslocamentos, que podem estar relacionados à reprodução, busca por alimentos ou fuga de predadores. Esses músculos desenvolvem a potência aerodinâmica necessária para manter o corpo do animal no ar, assim como deslocá-lo, com uma intensa atividade metabólica no movimento de arrasto do corpo. Os músculos que tem um papel imprescindível no movimento das asas durante o voo são os músculos peitoral e supracoracóideo que abaixam e elevam as asas respectivamente (BIEWENER, 2011). As fibras do músculo peitoral foram escolhidas para análise pelo fato de terem relação direta com a atividade de voo e assim ser possível avaliar se sofrem, a nível histológico, mudanças significativas relacionadas aos voos de longa distância por ocasião da realização da migração sul, durante a invernada e na preparação para o regresso ao Norte do continente americano, a migração norte.

Ao longo do ano, uma ave migratória pode modificar sua dieta, devido à disponibilidade de alimento ou pela demanda nutricional necessária para troca de penas e para reprodução. O sistema digestório precisa ser morfologicamente plástico para lidar com estas mudanças. Ao contrário dos componentes estruturais, tais como os ossos, que essencialmente não mudam no tamanho quando o animal está maduro, os órgãos digestivos podem mudar em relação ao tamanho e massa para digerir mais eficientemente diferentes alimentos (STARCK, 1999). Assim como, durante os longos voos, órgãos do sistema digestório, como estômago e intestino diminuem (BATTLEY & PIERSMA, 1997) outros órgãos, tais como o coração, pulmões e os músculos do voo hipertrofiam, aumentando a capacidade energética da ave (BATTLEY & PIERSMA, 2005).

Quando se analisa histologicamente a organização do intestino, se encontra quatro camadas diferenciadas, que são: mucosa, submucosa, muscular e serosa. A camada mucosa é composta pelo epitélio de revestimento, lâmina própria, glândulas, muscular da mucosa e os vilos. Estes últimos são encontrados nos intestinos delgado e grosso e se configuram em projeções da mucosa para o lúmen intestinal, sendo recobertos por um epitélio colunar simples. Essas estruturas são mais altas no intestino delgado e vão diminuindo no sentido em direção ao intestino grosso, onde se tornam mais baixos e grossos. Os vilos possuem três tipos de células que diferem em morfologia e funcionalidade, são elas: os enterócitos, as células caliciformes e as células enteroendócrinas (BACHA & BACHA, 2000; AUGHEY & FRYE, 2001; EROSCHENKO, 2008; FRAPPIER, 2007). As estruturas intestinais foram elencadas para análise nesse estudo, uma vez que o intestino é um órgão susceptível à influência dos recursos alimentares disponíveis na dieta, que varia ao longo do ciclo migratório.

Pires (2008) confirmou que a mucosa do trato gastrointestinal tem a maior taxa de renovação dentre todos os tecidos do corpo. Nas criptas, as divisões mitóticas equivalem a 55% da proliferação celular no intestino, seguido de 32% na região média das vilosidades e 8% na região apical (APPLEGATE et al., 1999).

Cada segmento do intestino delgado é bem caracterizado pelo número e tamanho de vilosidades, o que lhes conferem peculiaridades. Dessa forma, a capacidade de absorção será proporcional ao número e altura dos vilos presentes.

Existe ainda um fator amplificador da capacidade de absorção que é a presença de microvilosidades na porção apical de cada enterócito (MACARI, 1999).

Capítulo I

**Morfometria da fibra muscular peitoral e das vilosidades intestinais
de *Calidris pusilla* (LINNAEUS, 1766) durante o período de
invernada no Brasil**



Morfometria da fibra muscular peitoral e das vilosidades intestinais de *Calidris pusilla* (LINNAEUS, 1766) durante o período de invernada no Brasil

Journal:	<i>Pesquisa Veterinária Brasileira</i>
Manuscript ID	PVB-5175
Manuscript Type:	Original Article
Date Submitted by the Author:	14-Dec-2016
Complete List of Authors:	Chaves, Felipe; Universidade Federal da Paraíba, Júnior, Nailson de Andrade; Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Ciências Veterinárias Rodrigues, Roberta; Universidade Federal da Paraíba, Ciências Veterinárias Guerra, Ricardo; Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Ciência Veterinárias
Keyword:	Migração de aves, Charadriiformes, Alterações Histológicas

Morfometria da fibra muscular peitoral e das vilosidades intestinais de *Calidris pusilla* (Linnaeus, 1766) durante o período de invernada no Brasil¹

Felipe de Q. Chaves^{2*}, Nailson de A. Neri Júnior³, Roberta C. Rodrigues², Ricardo R. Guerra^{2,4}

ABSTRACT.- Chaves F.Q., Neri Júnior N. A., Rodrigues R. C. & Guerra R. R. 2016. **[Morphometry of the pectoral muscle fiber and intestinal villi of *Calidris pusilla* (Linnaeus, 1766) during the wintering period in Brazil.]** Morfometria da fibra muscular peitoral e das vilosidades intestinais de *Calidris pusilla* (Linnaeus, 1766) durante o período de invernada no Brasil. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 00(0):00-00. Laboratório de Histologia Animal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, CCA/UFPB, Cidade Universitária, Areia, PB, 58.397-000, Brasil. E-mail: felipeqchaves@hotmail.com

Migration became a habit among several animal such as birds of the order Charadriiformes. Investigations of this group are necessary owing to the lack of information about major aspects to the physiology of migration. In the present study were analyzed the effects of migration in morphology of the specie *Calidris pusilla* which migrates to Brazil during winter, arriving at September or October and coming back between March and May to reproductive areas. Specimens captured from Coast of the Paraíba had have removed a fragment of the pectoral muscles. It was fixed in 10% formaldehyde and processed for histological practices following pattern procedures. Expressive differences were found during the time that these birds stayed in Brazil, including increased diameter of pectoral muscle fibers, and initial reduction followed by subsequent increase of intestinal villus. Otherwise intestinal crypts increased their depth in the first half of wintering with a decrease in the second half. When it was evaluated the index of intestinal goblet cells, there were no significant variations. It can be concluded that histomorphometric changes occur that make these birds adapted to the different moments of the migration.

INDEX TERMS: Bird Migration, Charadriiformes, Histological Alterations.

¹ Recebido em

Aceito para publicação em

² Programa de Pós Graduação em Ciência Animal, Centro de Ciências Agrárias (CCA), Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Cidade Universitária, Areia, PB, 58.397-000, Brasil. *Autor para correspondência: felipeqchaves@hotmail.com

³ Acadêmico do curso de Medicina Veterinária, CCA/UFPB Cidade Universitária, Areia, PB, 58.397-000, Brasil.

⁴ Laboratório de Histologia Animal, Departamento de Ciências Veterinárias (DCV), CCA/UFPB, Cidade Universitária, Areia, PB, 58.397-000, Brasil.

Resumo. - A migração tornou-se um hábito em vários animais, como nas aves da ordem Charadriiformes. Estudos nesse grupo justificam-se pela escassez de conhecimento sobre aspectos biológicos relacionados à migração. Essa pesquisa analisou os efeitos da migração na morfologia da espécie *Calidris pusilla* que se desloca para o Brasil no período de invernada, chegando entre setembro e outubro e regressando às áreas de reprodução entre março e maio. Espécimes capturados no litoral da Paraíba tiveram um fragmento da musculatura peitoral e duodeno coletados, fixados em formol 10% e processados para histologia segundo procedimento padrão. Foram encontradas diferenças histológicas expressivas durante o tempo que permaneceram no Brasil, como aumento do diâmetro das fibras musculares peitorais, assim como, uma inicial redução da altura da vilosidade intestinal com subsequente aumento da mesma. Já as criptas intestinais aumentaram sua profundidade na primeira metade da invernada com uma diminuição na segunda metade. Quando avaliado o índice de células caliciformes intestinais, não houve variações significativas. Pode-se concluir que ocorrem mudanças histomorfométricas que tornam essas aves adaptadas aos diferentes momentos da migração.

TERMOS DE INDEXAÇÃO: Migração de Aves, Charadriiformes, Alterações Histológicas.

INTRODUÇÃO

Migração é um comportamento biológico que se desenvolveu, independentemente, em vários grupos animais, no qual populações realizam deslocamentos de forma cíclica e sazonal, geralmente associados a fatores alimentares e reprodutivos necessários ao ciclo de vida desses animais (Morrison 1984, Alerstam et al. 2003). A espécie *Calidris pusilla* (Linnaeus, 1957) da ordem Charadriiformes e família Scolopacidae (Phillips 1975) é uma das aves limícolas migratórias que permanece parte do ano na costa brasileira. Tem como características fenotípicas bico e pernas negras (Sick 1997). Os *C. pusilla* chegam ao Brasil entre agosto e setembro e regressam aos locais de reprodução em abril (Larrazábal et al. 2002), com ocorrência de vários sítios de invernada na região Nordeste (Oliveira et al. 2016). Nessas áreas, além da troca de penas, essenciais ao voo, o ganho de massa que se reflete no acúmulo de energia suficiente para a continuidade do ciclo é realizado (Rodrigues et al. 2009). A espécie apresenta capacidade para voos longos relacionados às rotas migratórias de longa extensão que realiza (Fig.1) e, de acordo com Azevedo-Júnior et al. (2002), a análise da capacidade de voo da espécie levou a inferir que *C. pusilla* pode voar até 3.545,77 quilômetros. Pela importância que o deslocamento tem para as aves, parte de suas características anatômicas está relacionada ao voo, que é sua principal forma de deslocamento (Landini et al. 2013).

Uma grande flexibilidade fenotípica e metabólica se dá durante os voos de longas distâncias, determinada por taxas de rotatividade de tecidos e proporcionadas por estratégias funcionais de economia e eficiência fisiológica (Bauchinger & McWilliams 2010). A princípio, as mudanças na massa corporal das aves foram atribuídas à diferenças apenas no conteúdo de gordura corporal (Connell et al. 1960, Odum et al. 1964, Blem 1980). No entanto, outros estudos demonstram que, assim como o teor de gordura, a massa magra também se modifica durante o período migratório (Lindstrom & Piersma 1993, Jehl 1997, Karasov & Pinshow 1998, Battley et al. 2000), sugerindo uma mudança no tamanho dos órgãos e grupos musculares. Os músculos que tem um papel imprescindível no movimento das asas durante o voo são os músculos peitoral e supracoracóideo que abaixam e elevam as asas respectivamente (Biewener 2011).

Ocorre uma importante variação em massa corporal relacionada ao período da invernada e a plumagem dos indivíduos da espécie *Calidris pusilla* e outras espécies migratórias ao longo da permanência desses animais na costa do norte e nordeste do Brasil, com um crescimento de massa no decorrer da invernada, sendo os maiores valores registrados próximo ao momento da migração norte com destino aos locais de reprodução (Rodrigues et al. 2016)

Os intestinos estão localizados na porção caudal da cavidade corporal, sendo a porção mais longa do sistema digestório com a função de digestão final dos alimentos, bem como a absorção dos nutrientes. O intestino pode responder às mudanças sazonais e de acordo com a dieta através de modificações morfológicas no trato intestinal (Pough et al. 2008). Pires (2008) constatou, em aves de corte, que a mucosa do trato gastrointestinal tem a maior taxa de renovação dentre todos os tecidos do corpo sendo susceptíveis à alterações na dieta, como a ocorrida durante as migrações.

As técnicas de morfometria são bastante úteis na biologia evolutiva, pois propiciam a interpretação e comparação dos padrões de variação de caracteres quantitativos (Cavalcanti & Lopes 1990), permitindo estudar a variação e covariação de medidas de distância quando aliada a recursos estatísticos (Cadrian 2000, Moraes 2003), não há estudos que avaliam morfometricamente o músculo peitoral e o intestino de tais aves migratórias. Além disso, apesar da importância das aves foco do presente estudo, devido a particularidades como o grande número de indivíduos deslocando-se entre vários países todos os anos e a redução de suas populações em nível global, o conhecimento a respeito de seus aspectos biológicos relacionados à migração, em suas áreas de invernada, são insipientes. Do mesmo modo que são inexistentes trabalhos voltados para os aspectos das alterações histológicas de aves limícolas durante seu ciclo migratório. Sendo assim, esse estudo teve o objetivo de compreender e constatar os aspectos e alterações morfológicas relacionadas ao momento da migração em que a espécie limícola migratória neártica *Calidris pusilla* (Linnaeus, 1766) encontra-se na costa brasileira, verificando se as diferentes fases da invernada alteram os parâmetros histomorfométricos das fibras musculares do músculo peitoral e estruturas intestinais, além de destacar as variações encontradas por comparação nas estruturas entre os meses coletados.

MATERIAL E MÉTODOS

Os protocolos metodológicos desta pesquisa foram aprovados pela Comissão de Ética para Uso de Animais na Universidade Federal da Paraíba e registrada sob o protocolo n° 172/2015 e a autorização para a realização do estudo foi concedida pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBio), arquivados sob os protocolos 47023-1 e 47023-2.

Área de Estudo e Captura das Aves. As coletas foram realizadas na Ilha da Restinga, Cabedelo, estado da Paraíba, Brasil (6°59'6"S e 34°51'52"W), que é uma ilha fluviomarinha localizada junto à desembocadura do rio Paraíba. (Figura 1).

As coletas foram realizadas nos meses de maio e outubro de 2015 e janeiro de 2016, que representam o período de retorno aos locais de reprodução, o momento da chegada das aves migratórias do hemisfério Norte e metade do período de sua invernada na América do Sul, respectivamente. A captura das aves foi realizada através de redes de neblina (12 x 2,5m) com malha de 36 mm, instaladas nos locais de uso frequente das aves.

Coleta das amostras de tecido. Foram eutanasiados, através de deslocamento cervical, 43 indivíduos da espécie *C. pusilla*, sendo 13 em maio, 15 em outubro e 15 em janeiro, dividindo o período de invernada em migração sul - chegada, período central e migração norte - saída. Foram coletadas amostras de 0,5 cm³ do músculo peitoral e segmentos de 1cm do duodeno para as análises histológicas, com fixação em solução de formaldeído 10%.

Processamento das amostras e morfometria da fibra muscular peitoral e das vilosidades e criptas intestinais. Os fragmentos da musculatura peitoral e do duodeno passaram por desidratação em soluções de álcool crescente (70% até 100%) e diafanização em Xilol, sendo submetidos a banhos e inclusão em parafina. Foi realizada a microtomia obtendo cortes de 5µm de espessura. Em seguida, as amostras foram submetidas às colorações histológicas de rotina (hematoxilina e eosina e periodic acid Schiff - PAS) (Junqueira & Carneiro 2008). As lâminas foram analisadas em microscópio Olympus BX-60 e as fotomicrografias realizadas com câmera Zeiss AxioCam acoplada, com a utilização do programa de captação de imagens digitais Ks-400.

Para determinação da altura da vilosidade, assim como profundidade de cripta foram visualizadas em microscópio e digitalizadas pelo menos 10 imagens por animal. Para cada imagem foram realizadas duas medições morfométricas nas vilosidades e criptas escolhidas aleatoriamente com aumento de 10x, perfazendo um "n" de 20 medições da mesma estrutura por animal, ou seja, pelo menos 260 medições (20 medições por animal x 13 animais) por período (migração sul, período central, migração norte).

Para a determinação da espessura das fibras musculares peitorais, a partir das imagens histológicas do músculo peitoral de cada animal no microscópio, foram digitalizados 5 campos diferentes na objetiva de 40x de cada animal, e de cada campo realizadas 8 mensurações aleatórias, perfazendo 40 medições por animal, ou 520 medições por período.

Para a contagem de células caliciformes nas vilosidades intestinais, foram realizadas 5 fotomicrografias de cada animal sendo mensurados 10 segmentos de epitélio linear com 1000µm de extensão cada, com objetiva de 20x.

A relação vilo/cripta foi encontrada pela divisão dos valores do comprimento do vilo pela profundidade da cripta. O processamento histológico e morfometria foram realizados de acordo com França et al. 2015

Análise dos dados. A aferição de variação de parâmetros foi realizada entre as distintas fases da migração das aves no Brasil (migração sul, período central, migração norte) pela análise de variância (ANOVA) com um critério e comparações múltiplas e pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5%. Essa etapa foi realizada pelo programa SPSS 21 e os gráficos gerados pelo programa Statistica 8.

RESULTADOS

Quando mensurada a espessura da fibra muscular peitoral, foi notório o aumento do diâmetro das fibras durante a invernada, com grande crescimento entre os meses de outubro e janeiro ($p < 0,05$) e entre janeiro e abril ($p < 0,05$) (Fig.3A) (Fig.4).

A altura das vilosidades intestinais foi maior na chegada e na saída da ilha da Restinga, ou seja, no início e no final da invernada, sendo mais baixa no período central (Fig.3B). Dessa forma, encontrou-se uma mudança relevante entre a chegada e o meio ($p < 0,05$) e entre o meio e a saída ($p < 0,05$), não havendo significância entre a chegada e a saída.

Em relação à profundidade das criptas intestinais, houve entre o início e o meio da invernada um aumento da profundidade ($p < 0,05$), diminuindo na saída ($p < 0,05$). A profundidade da cripta na saída foi maior que na entrada ($p < 0,05$) (Fig.3C).

A variação dos valores da relação vilo/cripta revelou-se significativa entre os três grupos comparados ($p < 0,05$), mostrando decréscimo entre a entrada e meio da invernada e em seguida um crescimento entre o meio e a saída da costa brasileira (Fig.3D), sendo essa relação menor na saída do que na entrada.

O índice de células caliciformes no intestino delgado também não apresentou alteração significativa durante a invernada na costa brasileira (Fig.3E).

DISCUSSÃO

Foram analisadas as fibras musculares peitorais e estruturas intestinais, que apresentaram variações significativas para alguns parâmetros que podem esclarecer adaptações biológicas utilizadas pela espécie durante a migração, e que podem ser extrapoladas para outras espécies de aves limícolas migratórias submetidas às mesmas condições.

Em linhas gerais, as modificações encontradas na comparação das estruturas nos três momentos de invernada na Paraíba estabelecidos nesse trabalho (entrada - outubro, meio - janeiro e saída - maio) corroboram o levantamento de Bauchinger & McWilliams (2010), visto o dinamismo estrutural que ocorre nos órgãos e estruturas desses animais que realizam voos longos, com maior atenção no crescimento de musculatura de voo e alterações de órgãos relacionados à nutrição nos momentos que antecedem e sucedem a viagem. Apesar do trabalho supracitado relatar tais alterações nos órgãos, esse é o primeiro estudo na qual as alterações encontradas são mensuradas por técnicas de morfometria para a espécie *C. pusilla*.

As estruturas do intestino delgado demonstraram sua capacidade de modelagem através de mudanças rápidas e reversíveis diante das condições ambientais. Dentre elas, tornam-se importantes os recursos alimentares disponíveis durante a invernada na costa brasileira, suprimindo as demandas energéticas desses animais, em resposta às mudanças encontradas com novos recursos alimentares que esses animais dispõem ao chegar ao local de invernada no Brasil, conforme já citado por outros autores (Karasov et al. 2004, McWilliams & Karasov 2005).

Existem estudos principalmente em aves de produção que demonstram a grande plasticidade do sistema digestório em relação às modificações na dieta, como suplementação de aminoácidos essenciais, níveis de energia, proteína, entre outros (Starck 1999, Aptekman et al. 2001, Ramalho et al. 2013, França et al. 2015, Porto et al. 2015), entretanto, são incipientes estudos em aves silvestres, especialmente nas migratórias. Nos estudos com aves de produção observam-se modificações morfológicas a nível intestinal, em altura de vilosidade, profundidade de cripta, na relação vilosidade/cripta e até na quantidade de células caliciformes que são produtoras de muco que protege a mucosa intestinal de agentes patógenos e auxiliam no fluxo do bolo alimentar pelo sistema digestório (Gomide-Junior et al. 2004, Ramalho et al. 2013, França et al. 2015).

Em relação às aves migratórias, Karasov et al (2004) demonstraram que os órgãos relacionados à digestão e assimilação de alimentos da espécie de passeriforme *Sylvia atricapilla* sofrem diminuição e aumento quando diante da privação ou oferta de alimentos, respectivamente, durante a migração. Os autores afirmam, ainda, que o intestino é um dos órgãos onde essas alterações se dão de forma mais marcante, o que explica as mudanças estruturais intestinais apresentadas nesse estudo.

O aumento da profundidade das criptas está relacionado com o aumento da proliferação celular requisitada pelo epitélio intestinal mediante uma injúria no tecido ou para que aumente a altura da vilosidade a fim de aumentar a área de absorção mediante uma oferta maior de nutrientes, uma vez que é nessa região onde se encontra a maior parte da proliferação celular no intestino (França et al. 2015). O aumento da altura da vilosidade aumenta a área de absorção, ou seja, aumenta a área de epitélio intestinal em contato com o alimento ingerido, absorvendo então mais nutrientes.

Na avicultura comercial é levada em conta para determinar uma boa saúde intestinal a relação vilosidade/cripta, sendo melhor uma relação maior, ou seja, vilosidade alta e profundidade de cripta menor, uma vez que cripta aumentada normalmente, nesse caso, está relacionado com lesão epitelial, seja de ordem mecânica, microbiana ou parasitária (França et al. 2015, Porto et al. 2015). Entretanto, tal análise não pode ser a mesma em aves migratórias, na qual o aumento da profundidade de cripta, ou seja, o aumento da divisão celular, pode e deve ocorrer para aumentar as vilosidades intestinais quando da chegada das aves em uma área de alimentação, podendo ser esta uma adaptação biológica determinada pelo comportamento migratório. Esse aumento da profundidade da cripta pode ser observada no meio da invernada no Brasil no presente estudo. O aumento de proliferação celular é um processo dispendioso, nutricionalmente falando, estudos apontam que até 20% de toda energia consumida é gasta para a renovação celular do intestino, e em aves esse valor é ainda maior (França et al. 2015), sendo assim,

apenas em condições de grande oferta de nutrientes, como a encontrada no período de invernada no Brasil, tal processo pode ser realizado. Tal demanda nutricional, aliada à fisiologia da migração, explica o porquê das criptas intestinais terem sua menor profundidade quando da chegada ao Brasil depois da migração sul na qual há poucas paradas ao longo da rota migratória, ou seja, baixa disponibilidade de nutrientes.

O fato da vilosidade intestinal não ser menor quando da chegada na invernada na Paraíba pode estar relacionado ao fato das aves já terem parado na costa do extremo norte da América do Sul, onde o *start* para a modificação morfológica do intestino já pode ter sido dado. Apesar de não haver dados histológicos sobre a morfologia intestinal dessas aves quando da chegada aos primeiros pontos de parada nos locais de invernada na costa da América do Sul, pressupõe-se que a altura de vilosidade seja menor, uma vez que até tal ponto a migração se dá em um voo sem paradas por pouco mais de 4.000km. Já a redução na altura dessas vilosidades no meio da invernada no litoral da Paraíba, não parece ter respaldo científico, uma vez que nessa época (janeiro) as aves teriam alta disponibilidade de alimento o que é comprovado pela alta taxa mitótica do epitélio das criptas intestinais, demonstrada pela grande profundidade de cripta. É nesse período que as aves estão trocando a plumagem para a volta à América do Norte para o período de reprodução, o que pode estar desviando, como adaptação evolutiva, a energia que faria aumentar o comprimento das vilosidades intestinais.

A relação vilo/cripta conforme já mencionado, na avicultura comercial, é dita melhor quando é maior, demonstrando que, nesse caso, a ave não tem necessidade de reposição celular além da manutenção, por algum motivo como patologias na mucosa intestinal. Entretanto, em aves migratórias, como se viu com a *C. pusilla*, a menor relação parece demonstrar o ponto exatamente onde o animal se depara com condições nutricionalmente favoráveis conseguindo alterar a morfologia intestinal para subsidiar a maior absorção de nutrientes a partir do aumento das vilosidades intestinais. Nesse contexto, visualizamos uma menor relação vilo/cripta exatamente no meio da invernada das aves na Paraíba, seguida da saída em maio, e sendo maior na entrada, em outubro, logo após chegar da migração sul com paradas anteriores no Amapá e Maranhão. Provavelmente essa absorção de nutrientes é importante não apenas para o ganho de massa e gordura essenciais para o voo migratório, mas também para possibilitar o ciclo de mudas de penas das aves que ocorrerá durante a invernada.

O índice de células caliciformes na mucosa intestinal, expresso em número de células por micrômetro, não se alterou nas fases estudadas da invernada mesmo quando houve modificações histológicas oriundas de maior disponibilidade de nutrientes, diferentemente do observado em aves de produção (Gomide-Junior et al. 2004, Ramalho et al. 2013, França et al. 2015).

Os resultados da análise das fibras musculares do músculo peitoral demonstraram que há aumento gradativo da espessura da fibra durante a invernada na costa brasileira, na Paraíba, o que está em consonância com Piersma (1998) que afirma que a grande oferta de proteína através da alimentação funciona como estímulo para o crescimento dessa musculatura a nível celular e macroscópico, o que aconteceu devido à alimentação abundante durante a estadia no Brasil.

Ao chegar ao Brasil, em outubro, as fibras musculares peitorais tinham uma menor espessura o que se explica pelo longo período de voo que aves foram submetidas, uma vez que a musculatura é mobilizada e consumida como fonte de energia em situações de esgotamento de reservas lipídicas, processo já explicado por Biebach (1998), levando a uma menor dimensão (atrofia) da fibra muscular e do feixe do músculo como um todo.

Sendo assim, durante o voo migratório, as aves além de se utilizar das reservas de gordura, se utilizaram não só dos estoques de glicogênio da musculatura peitoral, mas também dos aminoácidos que o compõe diminuindo assim, sua espessura.

No mês de janeiro, meio da invernada na costa da Paraíba, houve um ganho expressivo em espessura nas fibras musculares peitorais, provavelmente em virtude da grande oferta de alimento encontrada. No término do período de invernada, maio, a espessura foi ainda maior, consistindo em uma preparação para a próxima travessia de longa distância que será o retorno ao continente norte-americano.

Apesar de ser conhecido que o músculo estriado esquelético do peitoral, sofre hipertrofia e em alguns casos até hiperplasia quando há atividade intensa (Meloni 2005), tal hipertrofia não pode ser observada nas aves após a migração uma vez que o próprio músculo, como já mencionado, acaba por ser consumido; reservas de glicogênio (fonte energética) e após as reservas de aminoácidos (fonte proteica).

A hipertrofia encontrada na musculatura peitoral dessas aves durante a invernada no Brasil é fundamental como estratégia para o êxito no grande deslocamento realizado por esses animais, no qual parte dos nutrientes encontrados na musculatura será novamente utilizado na travessia, com a alimentação ocorrendo apenas nas poucas paradas realizadas até chegar no destino final, no norte do

continente americano. Além da função de ajudar à subsidiar nutricionalmente a migração, essa hipertrofia é importante uma vez que os músculos peitorais são os mais requisitados durante o voo de longas distâncias.

O expressivo crescimento muscular encontrado, também foi compatível com dados levantados em outras espécies de *Calidris* sp. (Dietz et al. 1999), em que foi utilizada a técnica de ultrassonografia para verificar tais alterações. Muito embora tenha-se o estudo supracitado e o presente, demonstrado o efeito da hipertrofia do músculo peitoral durante a invernada, o mecanismo fisiológico pelo qual se dá esse crescimento muscular ainda não é plenamente compreendido.

A hipertrofia das fibras musculares expressam consonância e devem contribuir com o crescimento de massa corporal encontrado por Rodrigues et al. 2016 que verificou a ocorrência do aumento significativo da massa corporal nos indivíduos da espécie *C. pusilla* ao longo da invernada em relação ao que se observou na chegada onde a massa corporal foi a menor registrada e que esse parâmetro atinge os maiores valores próximo à saída dos animais da costa brasileira rumo à migração norte. Nesse último momento os animais encontram-se com plumagem intermediária ou reprodutiva. Em contrapartida, a plumagem de eclipse, ou descanso reprodutivo, coincide com os menores valores de massa corporal quando na chegada da migração sul.

CONCLUSÕES

A ave limícola migratória *C. pusilla* durante o período de invernada no litoral da Paraíba, Brasil apresenta alterações morfológicas como o aumento da espessura da fibra muscular peitoral e o aumento das criptas intestinais onde ocorrem a proliferação celular que permite o crescimento das vilosidades intestinais e subsequente aumento da absorção de nutrientes. Tais medidas auxiliarão a troca de plumagem, o amadurecimento do sistema reprodutor e a migração de volta ao norte do continente americano. Mais estudos referentes às características morfométricas do intestino e músculo dessas aves no ponto de partida na América do Norte e de chegada no Brasil, no Amapá, são requeridas para que o aspecto como um todo seja entendido.

REFERÊNCIAS

- Alerstam T., Hedenström A. & Åkesson S. 2003. Long distance migration: evolution and determinants. *Oikos* 103:247-260.
- Aptekmann K.P., Baraldi-Artori S.M. & Stefanini M.A. 2001. Morphometric analysis of the intestine of domestic quails (*Coturnix coturnix japonica*) treated with different levels of dietary calcium. *Anat. Hist. Embryol.* 30:277-280.
- Azevedo-Junior S.M., Dias Filho M.M., Larrazábal M.E.L. & Fernandes C.J.G. 2002. Capacidade de vôo de quatro espécies de Charadriiformes (Aves) capturadas em Pernambuco, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 19: 183-189.
- Battley P.F., Piersma T., Dietz M.W., Tang S., Dekinga A. & Hulsman, K. 2000. Empirical evidence for differential organ reductions during trans-oceanic bird flight. *Proc. of the Roy. Soc. London, Biol. Scien.* 267:191-195.
- Bauchinger U. & McWilliams S. R. 2010. Extent of phenotypic flexibility during long-distance flight is determined by tissue-specific turnover rates: a new hypothesis. *J. Avian Biol.* 41:1-7.
- Biebach H. 1988. Phenotypic organ flexibility in garden warblers *Sylvia borin* during long-distance migration. *J. Avian Biol.* 29: 529-535.
- Biewener A.A. 2011. Muscle function in avian flight: achieving power and control. *Phil. Trans. Roy. Soc. B* 366:1496-1506.
- Blem C.R. 1980. The energetics of migration. *Animal Migration, Orientation, and Navigation* (ed. S.A. Gauthreaux), Academic Press, Orlando, pp. 174-224.
- Cadrin S.X. 2000. Advances in morphometric identification of fishery stock. *Rev. Fish Biol. and Fish.* 10: 91-112.
- Cavalcanti M.J. & Lopes P.R.D. 1990. Morfometria comparada de *Ctenosciaena gracilicirhus*, *Paralichthys brasiliensis* e *Micropogonias furnieri* (Teleostei: Sciaenidae) pela análise multivariada de redes de treliças. *Rev. Bras. Zool.* 7: 627-635.
- Connell C.E., Odum, E. P. & Kale H. 1960. Fat-free weights of birds. *Auk* 77: 1-9.

- Dietz M.W., Piersma T. & Dekinga A. 1999. Body-building without power training: endogenously regulated Pectoral muscle hypertrophy in confined shorebirds. *J. Exp. Biol.* 222: 2831–2837.
- França A.M., Oliveira C.B., Bezerra H.O., Campos, D.B., Guerra R.R., Costa F.G.P. & Gvizez, P.E.N. 2015. High incubation temperature and threonine dietary level improve ileum response against post-hatch *Salmonella* enteritidis inoculation in broiler chicks. *Plos One* 10(7): e0131474.
- Gomide-Junior M.L., Sterzo E.V., Macari M. & Boleli, I.C. 2004. Use of scanning electron microscopy for the evaluation of intestinal epithelium integrity. *Rev. Bras. Zoot.* 33:1500–1505.
- Jehl J.R. 1997. Cyclical changes in body composition in the annual cycle and migration of the Eared Grebe *Podiceps nigricollis*. *J. Avian Biol.* 28: 132–142.
- Junqueira L.C. & Carneiro J. 2008. *Histologia Básica*. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, p.3–4.
- Karasov W.H. & Pinshow B. 1998. Changes in lean mass and in organs of nutrient assimilation in a long-distance passerine migrant at a springtime stopover site. *Physiol. Zool.* 71:435–448.
- Karasov W.H., Pinshow B.; Starck J.M. & Afik D. 2004. Anatomical and histological changes in the alimentary tract of migrating (*Sylvia atricapilla*): a comparison among fed, food-restricted, and refed birds. *Physio. and Biochem. Zool.* 77: 149–160.
- Landini G.F., Di Vito Neto A., Schwantes A.R., Schwantes M.L.B. & Santos M. 2013. Intraerythrocytic organic phosphates and hemoglobins of skua - *Catharacta maccormicki* (Stercorariidae): at two different stages of the year in relation to Antarctic migration. *Brazil. Arch. Biol. and Technology.* 56: 599–606.
- Larrazábal M.E., Azevedo Júnior S.M. & Pena O. 2002. Monitoramento de aves limícolas na Salina Diamante Branco, Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 19:1081–1089.
- Lindstrom A. & Piersma T. 1993. Mass changes in migrating birds: the evidence for protein storage re-examined. *Ibis* 135:70–78.
- McWilliams S.R. & Karasov W.H. 2005. Migration takes guts: digestive physiology of migratory birds and its ecological significance, p. 67–78. In: Mara P. & Greenberg R., eds. *Birds of Two Worlds*. Washington: Smithsonian Institution Press.
- Meloni V.H.M. 2005. O papel da hiperplasia na hipertrofia do músculo esquelético. *Rev. Bras. Cineantrop. e Desemp. Humano* 1: 59–63.
- Mizrahi D.M. & Peters K.A. 2009. Relationships between sandpipers and horseshoe crabs in Delaware Bay: A synthesis. Pages 65–88 in *Biology and Conservation of Horseshoe Crabs* (J. T. Tancredi, M. L. Botton and D. R. Smith, Eds.). Springer Science and Business Media, New York, New York.
- Moraes D.A. 2003. A Morfometria Geométrica e a sua “Revolução na Morfometria”: localizando e visualizando mudanças na forma dos organismos. *Bioletim* 3:1–5.
- Morrison R.G. 1984. Migration systems of some new world shorebirds, p. 125–202. In: J. BURGER & B.L. OLLA (Eds). *Behavior of marine animals. Shorebirds: migration and foraging behavior*. New York, Plenum Press, vol. 6, 743p.
- Odum E.P., Rogers D.T. & Hicks D.L. 1964. Homeostasis of the nonfat components of migrating birds. *Science* 143:1037–1039.
- Oliveira A.C., Barbosa A.E.A., Sousa A.E.B.A., Lugarini C., Lima D.M., Nascimento J. L. X., Souza M.A., Somenzari M., Souza N.A., Serafini P.P., Amaral P.P., Rossato R.M. & Medeiros R.C.S. 2016. Relatório anual de rotas e áreas de concentração de aves migratórias no Brasil. Cabedelo, PB: CEMAVE/ ICMBio. 63p.
- Phillips A.R. 1975. Semipalmated Sandpiper: identification, migrations, summer and winter ranges. *Amer. Birds* 29:799–806.
- Piersma, T. 1998. Phenotypic flexibility during migration: optimization of organ size contingent on the risks and rewards of fueling and flight? *J. Avian Biol.* 29:511–520.
- Pires D.L. 2008. Efeito da inoculação via esofágica de microbiota intestinal sobre a hematologia, desenvolvimento e integridade intestinal de pintos de corte. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 96p.
- Porto M.L., Gvizez P.E.N., Saraiva E.P., Costa F.G.P., Moreira Filho A., Andrade M.F.S., Brandao P. A., Guerra R.R. 2015. Glutamic acid improves body weight gain and intestinal morphology of broiler chickens submitted to heat stress. *Rev. Bras. Ciência Avícola* 17: 355–362.
- Pough F.H., Heiser, J.B. & Janis C. M. *A vida dos vertebrados*. São Paulo: Atheneu, p. 456–461, 2008.

- Ramalho de Lima M., Costa F. G. P., Guerra R. R., Da Silva J. H., Rabello C.B.V., Miglino M. A., Lobato G. B. V., Netto S. B. S. & Dantas L. D. S. 2013. Threonine: lysine ratio for Japanese quail hen diets. J. Applied. Poultry Research (Print) 22: 260-268.
- Rodrigues R.C., Azevedo Júnior S. M., Larrazabal M.E.L. & Araújo H.F.P. 2009. Temporal variations of body mass and plumage in *Arenaria interpres* (Aves, Scolopaciidae) along the Brazilian coast. Zoologia 26:386-390.
- Rodrigues R. C., Araújo H. F. P., Guerra R. R., Durigon E. L, Mizrahi D. S., Azevedo Junior S. M. 2016. Temporal variation in the mass and plumage of four Charadriiformes species on the north-eastern coast of Brazil. Meu (Melbourne. Print) 116: 1-6.
- Sick H. 1997. Ornitologia Brasileira. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.
- Starck J. M. & Rahmaan G.H. A. 2003. Phenotypic flexibility of structure and function of the digestive system of Japanese quail. J.Exper. Biol.206:1887-1897
- Starck J. M. 1999. Structural flexibility of the gastro-intestinal tract of vertebrates. Implications for evolutionary morphology. Zool. Anz. 238:87 -101

LEGENDA DAS FIGURAS

Fig.1.Rota migratória de *Calidris pusilla*, do Canadá ao Brasil (linha preta). Rota migratória do Brasil ao Canadá (linha cinza), percorrida com seis paradas por *Calidris pusilla* em 47 dias.

Fig.2. Localização da área de estudo.

Fig.3. Prancha com gráficos demonstrando parâmetros morfométricos de *Calidris pusilla* durante os três períodos (migração sul, período central, migração norte) de invernada no Brasil. A) Espessura das fibras musculares. B) Altura das vilosidades intestinais. C) Profundidade de cripta. D) Relação vilo/cripta. E) Índice de células caliciformes. Letras a, b, c indicam a ocorrência de diferença significativa.

Fig.4. Fotomicrografias das fibras musculares peitorais de *Calidris pusilla*. A. Fibras musculares na chegada das aves. B. Fibras musculares no meio da invernada. C. Fibras musculares na saída da Ilha da Restinga-PB. Barras: A, B e C - 20µm.

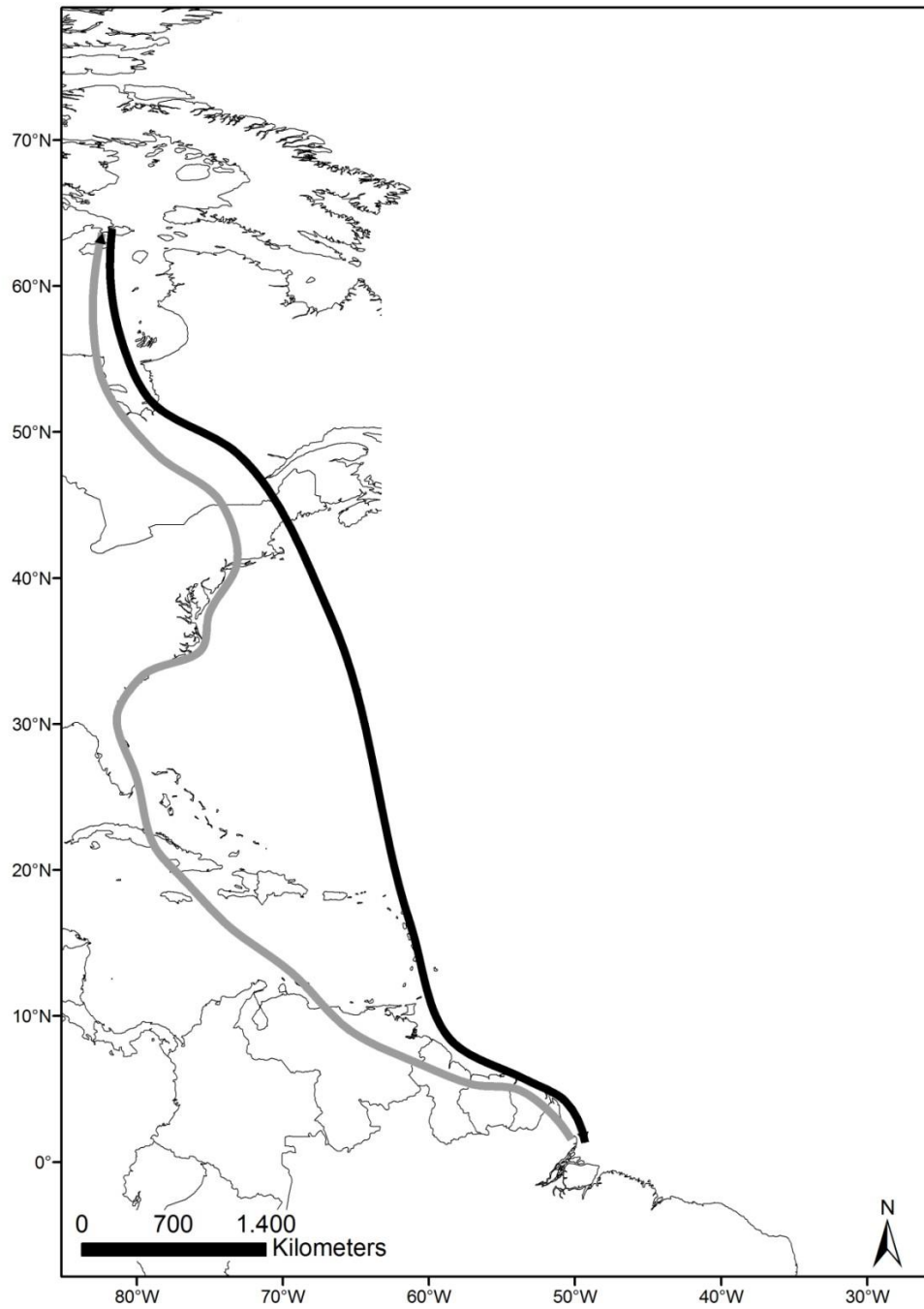


Fig.1

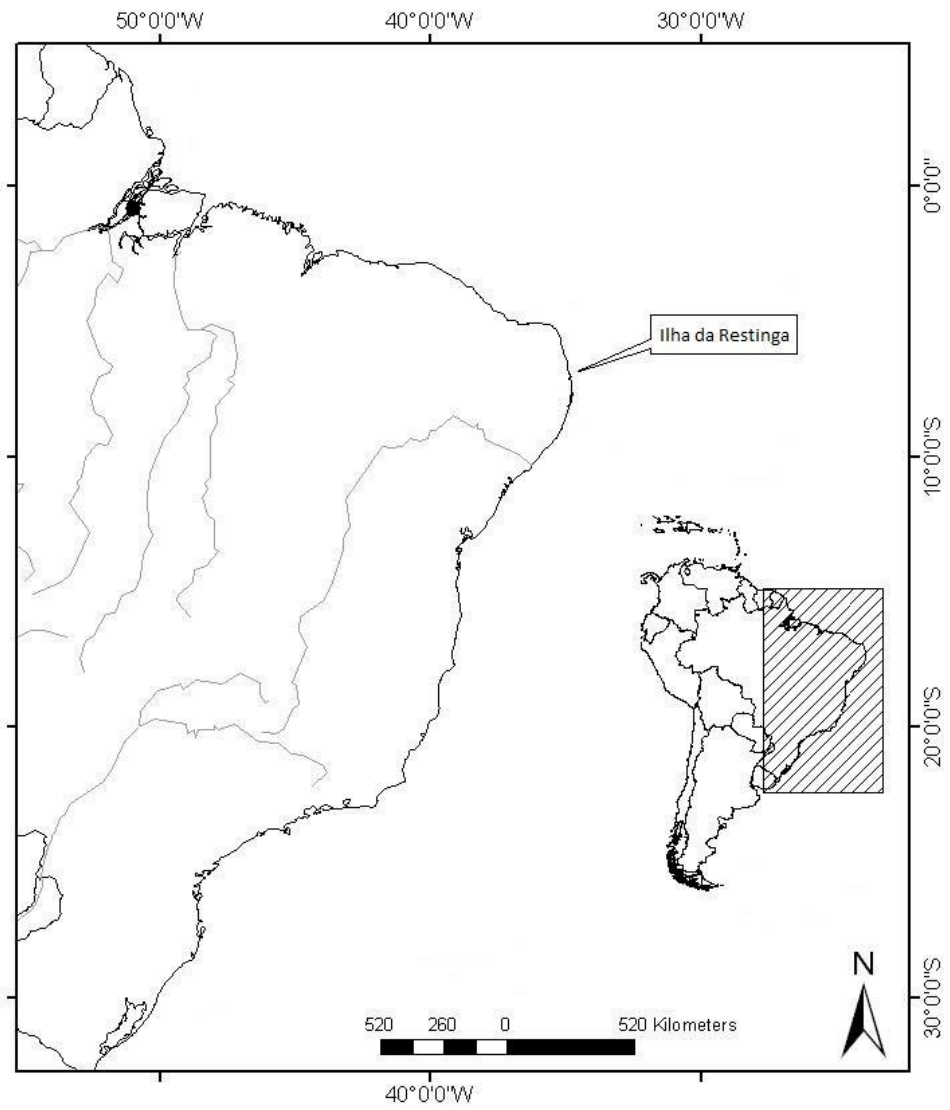


Fig.2

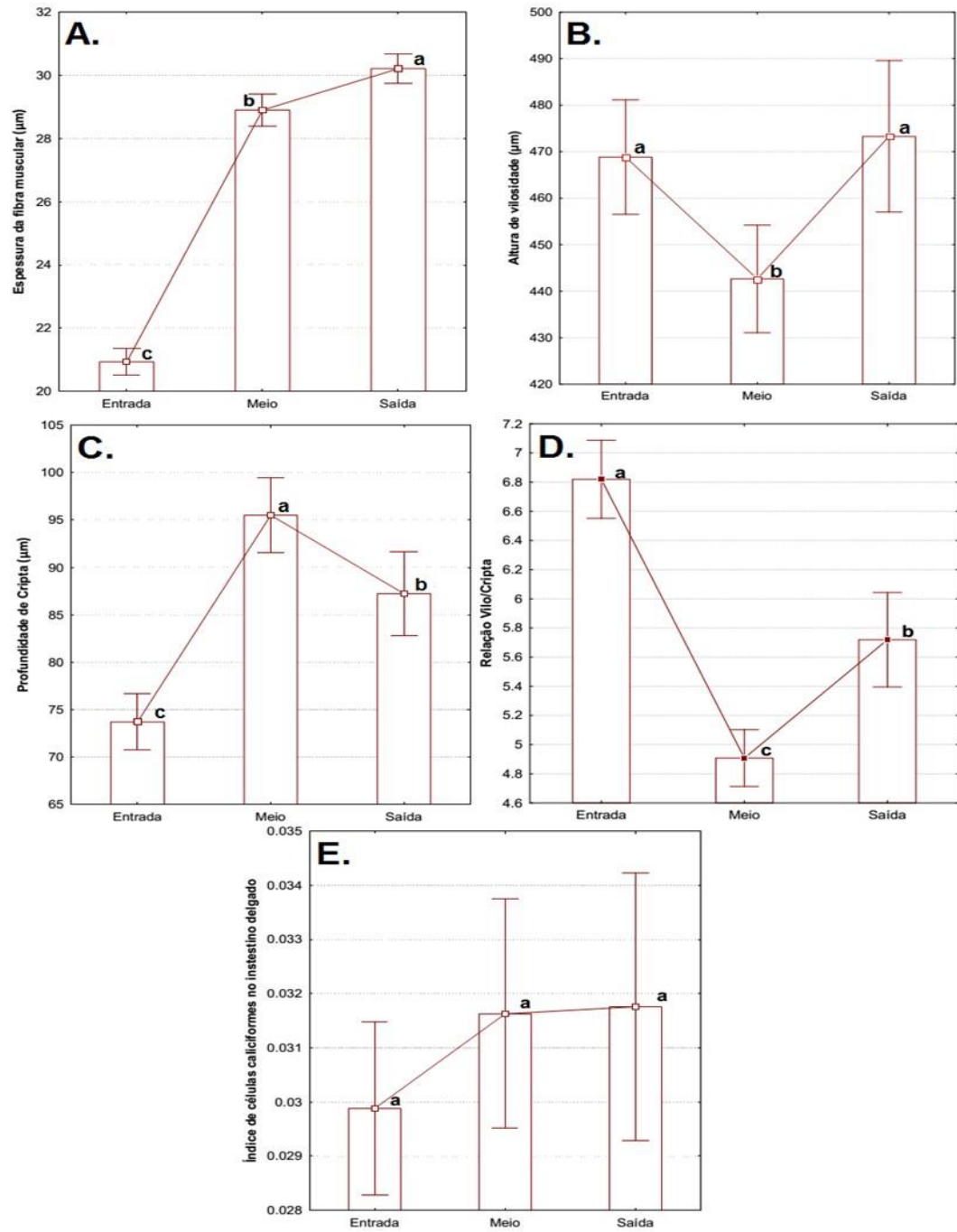


Fig.3

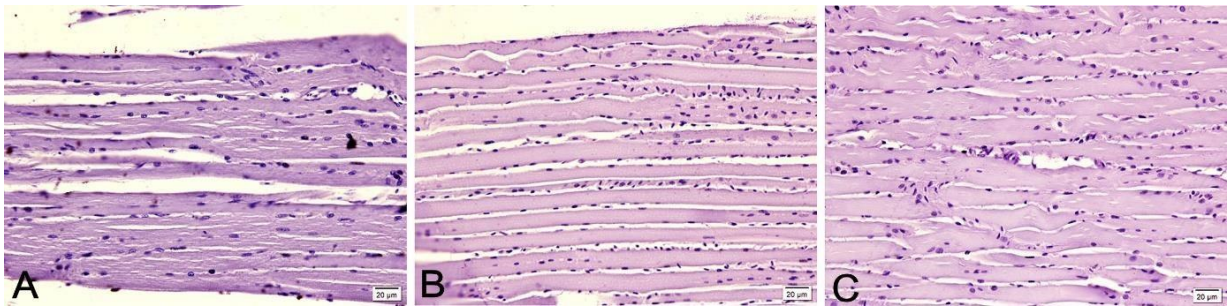


Fig.4

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados analisados levaram à obtenção de resultados que demonstram a ocorrência de variações significativas na histologia de *Calidris pusilla*, especificamente no seu músculo peitoral e intestino, durante a invernada. Os achados mais significativos se relacionam com uma alteração estrutural que se intensifica no período pré-migratório, demonstrando a importância da restauração e adaptação a nível histológico para que os animais possam executar o iminente voo de longa distância no seu regresso ao norte da América.

As informações obtidas nessa pesquisa reforçam a importância da realização de mais estudos com aves migratórias, visando a compreensão dos mecanismos que permitem a esses animais desempenharem o deslocamento cíclico de extensões continentais, visto que ainda são poucos os estudos que se voltaram para essa finalidade e que ainda existe um vasto conjunto de aspectos a serem pesquisados para um completo entendimento de como essas aves obtêm o êxito nas grandes travessias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALERSTAM, T. **Bird migration**. Cambridge University Press. 1990. 420p.
- ALERSTAM, T.; HEDENSTRÖM, A. & ÅKESSON, S. Long distance migration: evolution and determinants. **Oikos**, v. 103, p. 247-260, 2003.
- ANTAS, P. de T. Z. Migration of Nearctic Shorebirds Charadriidae and Scolopacidae in Brasil – Flyways and Their Different Seasonal Use. **Wader Study Group Bulletin**, v.39, p. 52-56, 1983.
- APPLEGATE, T.J.; DIBNER, J.J.; KITCHEL, M.L.; UNI, Z.; LILBURN, M.S. Effect of turkey (*Meleagris gallopavo*) breeder hen age and egg size on poultry development. 2. Intestinal villus growth, enterocyte migration and proliferation of turkey poult. **Comparative Biochemistry Physiology B**, Vancouver, v.124, n.4, p.381-389, dez.1999.
- AUGHEY, E.; FRYE, F.L. Digestive system. In: **Comparative veterinary histology: with clinical correlates**. London: Manson Publishing Ltd., 2001. cap. 8, p. 97-136.
- AZEVEDO-JÚNIOR, S. M. & LARRAZÁBAL, M. E. L. 1999. Captura e anilhamento de *Calidris pusilla* (Scolopacidae) na costa de Pernambuco. **Ararajuba** v.7 n.2, p. 63-69.
- AZEVEDO-JÚNIOR, S. M.; DIAS, M. M.; LARRAZÁBAL, M. E. L.; TELINO-JÚNIOR, W. R.; LYRA-NEVES, R. M. & FERNANDES, C. J. G. Recapturas e recuperações de aves migratórias no litoral de Pernambuco, Brasil. **Ararajuba** v.9, n.1, p.33-42, 2001.
- BACHA, W. J. J.; BACHA, L. M. Digestive system. In: **Color atlas of veterinary histology**. 2^a ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, cap.13, p. 119-162, 2000.
- BATTLE, P. F. & PIERSMA, T. Body composition of lesser knots (*Calidris canutus rogersi*) preparing for take-off on migration from northern New Zealand. **Notornis** v.44, p.137-150, 1997.
- BATTLE, P. F. & PIERSMA, T. Body composition and flight ranges of bar-tailed godwits (*Limosa lapponica baueri*) from New Zealand. **The Auk**, v.122, n. 3, p. 922-937, 2005.
- BERTHOLD, P. **Bird Migration: a general survey**. Oxford University Press. New York.1993. 239p.

BIEWENER, A. A. Muscle function in avian flight: achieving power and control. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 366, p.1496-1506, London, 2011.

Birdlife International Data Zone. Disponível em: <<http://www.birdlife.org/datazone/info/spcdownload>>. Acessado em: 20 de fevereiro de 2016.

BOERE, G. C.; STROUD, D. A. The flyway concept: what it is and what it isn't. In: BOERE, G. C.; GALBRAITH, C. A.; STROUD, D. A. (Org.) **Waterbirds around the world**. 2006, p.40-47.

CRBO. **Listas de Aves do Brasil** (11 ed.), 2014. Disponível em: <<http://www.caiobrito.com/uploads/2/8/0/7/28072945/avesbrasil2014.pdf>>. Acessado em 05 de março de 2016.

DEKINGA, A.; DIETZ, M. W.; KOOLHAAS, A. & PIERSMA, T. Time course and reversibility of changes in the gizzards of red knots alternately eating hard and soft food. **The Journal of Experimental Biology** v.204, p. 2167-2173, 2001.

EROSCHENKO, V. **Atlas of histology: with functional correlations**. 11^a.ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2008. 532 p.

EVANS, P. R.; DAVIDSON, N. C.; UTTLEY, J. D., & EVANS, R. D. Premigratory hypertrophy of flight muscles: an ultrastructural study. **Ornis Scandinavica**, v. 23, p.238-243, 1992.

FRAPPIER, B. L. Digestive system. In: EURELL, J. A.; FRAPPIER, B. L. **Dellman's Textbook of Veterinary Histology**. 6 ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2007. cap. 10, p. 170-210.

GRATTO-TREVOR, C. L.; R. I. G. MORRISON; D. MIZRAHI; D. B. LANK; P. HICKLIN & A. L. SPAANS. Migratory connectivity of Semipalmated Sandpipers: winter distribution and migration routes of breeding populations. **Waterbirds**, v. 35, p. 83-95, 2012.

HARRINGTON, B. A. & MORRISON, R. I. G. Semipalmated Sandpiper (*Calidris pusilla*). **Wader Study Group Bulletin**, v. 33, p. 37-38, 1979.

HARRINGTON, B.; ANTAS, P. T. Z. & SILVA, F. Observations of Common Terns in South Brazil. **Journal of Field Ornithology**, v. 57, p. 222-224, 1986.

- HEDENSTRÖM, A.; ALERSTAM, T. Climbing performance of migrating birds as a basis for estimating limits for fuel-carrying capacity and muscle work. **Journal of Experimental Biology**. v.164, p.19-38, 1992.
- JEHL, J. R. Cyclical changes in body composition in the annual cycle and migration of the Eared Grebe *Podiceps nigricollis*. **Journal of Avian Biology**, v. 28, p. 132–142, 1997.
- MACARI, M. A. Fisiologia do sistema digestivo das aves (I). **Aves e Ovos**, São Paulo, v.8, n. 9, p.12-21, 1999.
- MARSH, R. L. Adaptations of the gray catbird *Dumetella carolinensis* to long-distance migration: flight muscle hypertrophy associated with elevated body mass. **Physiological Zoology**, v.57, p. 105–117, 1984.
- MORRISON R.G. **Migration systems of some new world shorebirds**, p. 125-202. In: J. BURGER & B.L. OLLA (Eds). Behavior of marine animals. Shorebirds: migration and foraging behavior. New York, Plenum Press, vol. 6, 743p, 1984.
- OLIVEIRA, A. C.; BARBOSA, A. E. A.; SOUSA, A. E. B. A.; LUGARINI, C.; LIMA, D. M.; NASCIMENTO, J. L. X.; SOUZA, M. A.; SOMENZARI, M.; SOUZA, N. A.; SERAFINI, P. P.; AMARAL, P. P.; ROSSATO, R. M. & MEDEIROS, R. C. S. 2016. **Relatório anual de rotas e áreas de concentração de aves migratórias no Brasil**. Cabedelo, PB: CEMAVE/ ICMBio. 2016. 63p.
- PIERSMA, T. & LINDSTRÖM, A. Rapid reversible changes in organ size as a component of adaptive behavior. **Trends in Ecology and Evolution**, v.12, p. 134-138, 1997.
- PIERSMA, T. Phenotypic flexibility during migration: optimization of organ size contingent on the risks and rewards of fueling and flight? **Journal of Avian Biology**, v. 29, p. 511-520, 1998.
- PIERSMA, T. & DRENT, J. Phenotypic flexibility and the evolution of organismal design. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 15, p. 228-233, 2003.
- PIRES D. L. **Efeito da inoculação via esofágica de microbiota intestinal sobre a hematologia, desenvolvimento e integridade intestinal de pintos de corte**. 2008. 96 f. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.
- RAYNER, J. M. Avian flight energetics. **Annu. Ver. Physiol.** v. 44, p. 109-119, 1982.

- RODRIGUES, R. C.; AZEVEDO JÚNIOR, S. M.; LARRAZABAL, M. E. L. & ARAÚJO, H. F. P. Temporal variations of body mass and plumage in *Arenaria interpres* (Aves, Scolopacidae) along the Brazilian coast. **Zoologia** v.26, p.386-390, 2009.
- SERRANO, I. L. **Distribuição e conservação de aves migratórias neárticas da ordem Charadriiformes (famílias Charadriidae e Scolopacidae) no Brasil**. 2010. 174f. Tese (Doutorado em Zoologia) Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 2010.
- SICK, H. **Ornitologia Básica**. 1ª ed. Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1997, 862p.
- STARCK, J. M. Structural flexibility of the gastro-intestinal tract of vertebrates. Implications for evolutionary morphology. **Zoologischer Anzeiger - A Journal of Comparative Zoology**, v. 238, p.87-101, 1999.
- TELINO, J. W. R.; AZEVEDO JÚNIOR, S. M.; NEVES, R.M.L. Censo de aves migratórias (Charadriidae, Scolopacidae e Laridae) na Coroa do Avião, Igarassu, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v.20, n.3, p. 451-456, 2003
- THOMAS, G. H.; WILLS, M. A.; SZÉKELY, T. A supertree approach to shorebird phylogeny. **BMC evolutionary biology**, v.4, n.1, p.28, 2004.